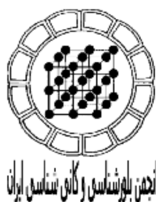
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی ام، شمارهٔ سوم، پاییز ۱۴۰۱، از صفحهٔ ۴۴۷ تا ۴۵۸



بررسی تاوایی گرانیت میلونیتی ده زمان بر اساس کرنش بلورهای فلدسپار

زهرا سودمند[1]، سعید معدنی پور*[1]، رضا نوزعیم[2]

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۹/۲، نسخه نهایی: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰)

چکیده: گرانیت میلونیتی ده زمان در شمال غرب قطعه لوت (پهنه کاشمر-کرمان) و منطقه کوه سرهنگی واقع است. در این توده گرانیتی به سن پرکامبرین پسین (۵۵۷-۵۶۱ میلیون سال)، برگوارگی میلونیتی با راستای ۱۲۰ درجه و شیب ۸۰ درجه به سمت جنوب شرق به‌خوبی گسترش یافته است. زاویه افتادگی خطواره کششی تا حدود ۴۰ درجه به سمت جنوب شرق است. در این پژوهش، بزرگی تاوایی در گرانیت میلونیتی ده زمان بر اساس کرنش بلورهای فلدسپار بررسی شد. شواهد ریزساختاری آواری‌های فلدسپاری نشان‌دهنده هم‌سویی برش‌ها به‌صورت راستالغز چپ‌گرد در منطقه است. شواهد ریزساختاری پورفیری آواری‌های به نسبت شکل‌دار فلدسپار و همچنین بازتبلور دینامیکی از نوع مهاجرت مرزدانه بیانگر دمای دگریختی حدود $450^\circ C$ به‌صورت یک میلونیت درجه پایین تا متوسط هستند. عدد تاوایی این گرانیت میلونیتی بر اساس نتایج برآمده از کرنش بلورهای فلدسپار ۰٫۸ برآورد شد که نشان‌دهنده غلبه مؤلفه برش ساده (۶۰٪) بر برش محض (۴۰٪) طی گسترش ساختار میلونیتی در شرایط ترا فشارشی است.

واژه‌های کلیدی: *کرنش؛ تاوایی؛ ترافشارش؛ میلونیت ده زمان؛ قطعه لوت.*

مقدمه

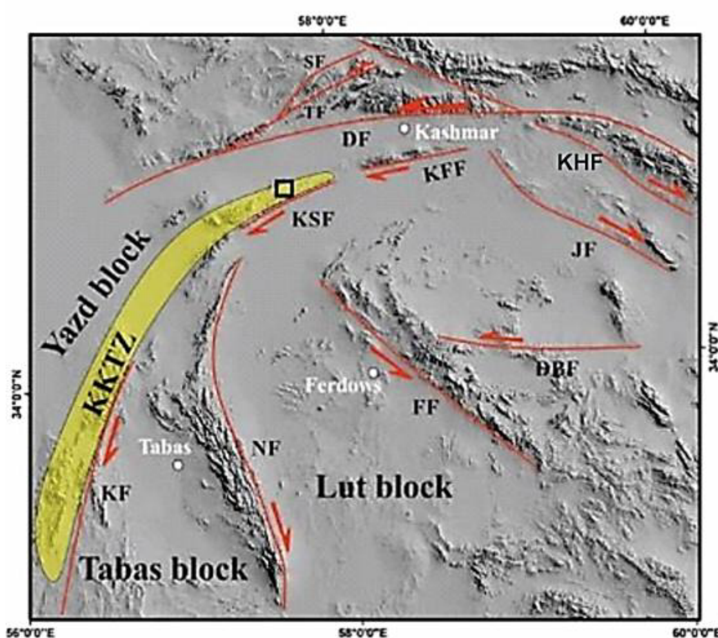
ایران مرکزی ازجمله خرده قاره‌های کوهزایی سیمرین است که طی جدایش از ابرقاره گندوانا و حرکت به سمت کرانه جنوبی اوراسیا سبب بسته شدن اقیانوس پالئوتتیس در شمال و پیدایش اقیانوس نئوتتیس در بخش جنوبی این خرده قاره شده است [۱-۵]. آثار و بقایای حوضه‌های اقیانوسی بیان شده بین قطعه‌های قاره‌ای به‌صورت مجموعه‌های افیولیتی در راستای کرانه شمالی البرز (پالئوتتیس)، زاگرس و پیرامون خرده قاره ایران مرکزی (نئوتتیس) برون‌زد دارند. پهنه زمین‌ساختی کاشمر-کرمان [۶] از جمله پهنه‌های برشی شکل‌پذیر و دارای برون‌زد سنگ‌های آذرین و دگرگونی پرکامبرین پسین است که دستخوش دگرشکلی شدیدی شده‌اند (شکل ۱) .در این میان، منطقه کوه سرهنگی به‌عنوان بخشی از ارتفاع‌های ایران مرکزی و یک منطقه نه‌چندان شناخته‌شده به‌صورت یک پهنه برشی راستالغز با راستای N70E در بخش شمال شرقی پهنه‌ی زمین‌ساختی کاشمر-کرمان قرار دارد. این منطقه به طول ۷۵ کیلومتر و عرض ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر به‌صورت گوه‌ای کشیده در '۱۰ °۵۸- °۵۷ طول شرقی و '۳ °۳۵ - '۴۸ °۳۴ عرض شمالی واقع است (شکل‌های ۲ و ۱). دگرشکلی در این منطقه طی مراحل مختلفی پس از پرکامبرین به‌صورت شکنا و نیز شکل‌پذیر است. از نظر سنگ‌شناسی، در منطقه انواع سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی بشدت دگرریخت شده طی مراحل مختلف کوهزایی وجود دارند که با آرایش نواری و به‌صورت دوگانه‌های راستالغز دیده می‌شوند (شکل ۲). پهنه برشی کوه سرهنگی بیشتر از توالی‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی پرکامبرین پسین-پالئوزوئیک آغازین تشکیل‌شده است. قدیمی‌ترین واحدهای سنگ‌چینه‌ای منطقه را اسلیت‌ها، متابازیت‌ها و میکاشیست‌ها تشکیل می‌دهند که وابسته به پرکامبرین پسین هستند (شکل ۲).

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۲۱۸۲۸۸۴۷۷۱، نمابر: ۰۲۱۸۲۸۸۳۴۶۰، پست الکترونیکی: madanipour.saeed@modares.ac.ir

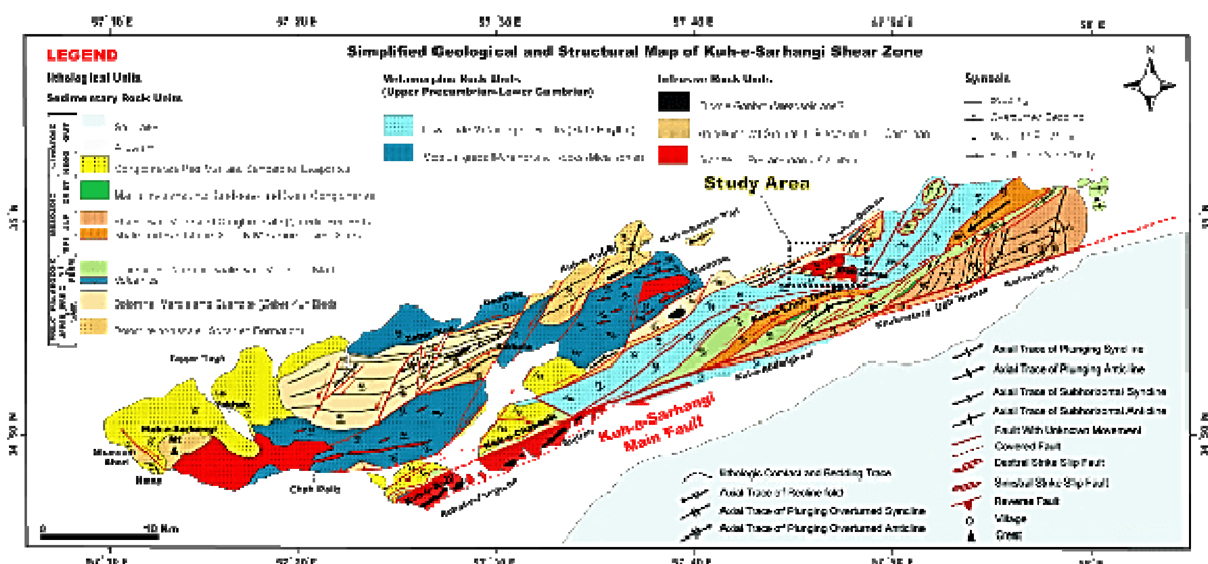
[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.3.5.3]

[DOI: 10.52547/ijcm.30.3.447]

با وجود انجام پژوهش‌های زمین‌شناسی پیرامون منطقه کوه سرهنگی و گرانیت ده زمان، تحلیل ساختاری گرانیت میلونیتی ده زمان نیازمند بررسی‌های جنبش‌شناسی دقیق و کمی تاوایی برای تعیین درصد مشارکت دگرشکلی برش محض و برش ساده در جریان دگرشکلی است. برای این منظور، پس از بررسی های کتابخانه‌ای و مرور مراجع علمی موجود، عملیات صحرایی برای برداشت‌های ساختاری و تهیه نمونه‌های جهت‌دار از گرانیت میلونیتی ده زمان انجام گردید. در مقاطع نازک، ریزساختارهای موجود در میلونیت براساس دستورالعمل‌های استاندارد مرجع [۷] بررسی شدند. برای اندازه‌گیری و تعیین درجه بیضوی بودن بلورهای کرنش یافته فلدسپار و تعیین کمی تاوایی از نرم‌افزارهای JMicrovision ،EllipseFit و اکسل استفاده‌شده است.



شکل ۱ پهنه‌های ساختاری شرق ایران مرکزی و موقعیت منطقه کوه سرهنگی (مستطیل مشکی‌رنگ)، :SF)گسل سبه :TF ,گسل تکنار، :DF گسل درونه :JF , گسل تراستی جنگل :FF, گسل فردوس :NF, گسل نایبند :KF, گسل کلمرد :KHF , گسل خواف:DBF,گسل دشت بیاض :KFF,گسل کوه فغان:KSF, گسل کوه سرهنگی :KKTZ, پهنه کاشمر- کرمان).



شکل ۲ نقشه ساده زمین‌شناسی و ساختاری پهنه برشی کوه سرهنگی و موقعیت گرانیت ده زمان.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.3.5.3]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.3.447]

پیشینه پژوهش‌ها

بررسی‌های زمین‌شناسی صورت گرفته در شمال غرب قطعه لوت بیشتر در قالب تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و همچنین برخی پژوهش‌های دانشگاهی در دهه‌های اخیر بوده‌اند که در ادامه بیان می‌شوند تهیه نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ فردوس و ۱:۱۰۰۰۰۰ ازبک کوه را شاید بتوان نخستین بررسی‌های زمین‌شناسی انجام شده در منطقه در نظر گرفت [۹،۸]. نوزعیم [۱۰] در قالب رساله دکتری دگریختی و تکامل ساختاری منطقه کوه سرهنگی در واحدهای سنگی، پی‌سنگی و نهشته‌های نئوژن-کواترنری را بررسی کرد. نوزعیم و همکاران [۱۱] ویژگی‌های ریزساختاری و دمای دگریختی گرانیت میلونیتی ده زمان را بررسی کرد که بر اساس تغییرشکل بلورهای کوارتز و فلدسپار، دمای دگریختی گرانیت ده زمان ۳۰۰°C -۵۰۰ برآورد شد. همچنین گرانیت ده زمان یک میلونیت درجه پایین تا متوسط است و تشکیل آن طی برش راستالغز چپ‌گرد می‌تواند در ارتباط با کوهزایی کاتانگایی در ایران مرکزی باشد.

روزتی و همکاران [۱۲] با سن‌سنجی گرانیت‌ها به روش U/Pb، سن تقریبی تشکیل گرانیت‌ها را در گستره زمانی ۵۲۰-۵۵۰Ma گزارش کردند. همچنین سن دو توده نیمه‌روشن و روشن موجود در ده زمان به ترتیب حدود ۴/۰ ± ۵۵۷/۴ و ۳/۰ ± ۵۶۱/۰ میلیون سال به‌دست‌آمد که می‌تواند در ارتباط با فرورانش اقیانوس پرتوتتیس باشد. نوزعیم و همکاران [۱۳] بر اساس بررسی‌های ساختاری و ریخت زمین‌ساختی در منطقه کوه سرهنگی، افزون بر اثبات وجود برش راست‌گرد پسانئوژن در شمال غرب قطعه لوت، الگوی زمین‌ساخت فراری درون ورقی فرار قطعه‌ای[۱] را برای توجیه همسایگی گسل‌های راست‌گرد این ناحیه با گسل چپ‌گرد درونه ارائه نمودند.

رحیمی دهگلان [۱۴] کرنش نهایی در برگه قاسم‌آباد (نیمه شمال شرقی منطقه کوه سرهنگی) را بررسی کرد. او گسل‌های منطقه را در افزایش شدت کرنش مؤثر می‌داند. سودمند [۱۵] نیز کرنش گرانیت میلونیتی ده زمان، گستره کوه سرهنگی در شمال غرب قطعه لوت را بر اساس شواهد دگریختی کانی‌های کوارتز و فلدسپار را بررسی کرد. در این پژوهش که در تکمیل بررسی‌های نوزعیم (۱۳۹۱) [۱۰] انجام شد، افزون بر تعیین دقیق‌تر دمای دگریختی، پارامترهای کرنش و همچنین شرایط مکانیکی حاکم بر دگریختی بررسی گردید.

زمین‌شناسی منطقه ده زمان

گرانیت ده زمان به سن پرکامبرین پسین [۱۲]، در شمال شرقی پهنه برشی کوه سرهنگی و در جنوب غرب شهرستان بردسکن قرار دارد (شکل‌های ۲ و ۳) و متشکل از توالی‌های سنگی گرانیتی میلونیتی شده، رخساره‌های رسوبی پرکامبرین پسین و کامبرین پیشین و همچنین متاپلیت‌های پرکامبرین که بیشتر دارای همبری گسلی هستند، تشکیل شده است (شکل ۳). مرز شمالی آن به واحدهای رسوبی پرکامبرین پسین-کامبرین پیشین (سری زبرکوه) و مرز جنوبی آن به تخته سنگ‌های پرکامبرین محدود است. سنگ‌های آذرین و دگرگونی پرکامبرین پسین-کامبرین پیشین در این منطقه رخنمون گسترده‌ای دارند. انواع سنگ‌شناسی‌های شیست به‌صورت شیست گارنت‌دار، میکا شیست، شیست میلونیتی، تخته‌سنگ و متاتوف در منطقه آشکارا دیده می‌شوند. شواهد دگریختی و میلونیتی شدن به‌طور گسترده در منطقه وجود دارند. بر اساس برداشت‌های میدانی انجام شده از گسترش برگوارگی میلونیتی در منطقه، تمرکز برگوارگی بیشتر در بخش نیمه جنوبی منطقه است. بر پایه بررسی‌های پیشین و بازدیدهای صحرایی، گرانیت ده زمان به دو رنگ تیره و روشن به ترتیب از نوع گرانیت نیمه روشن و گرانیت تمام تیره دیده می‌شود و سنگ‌شناسی دولومیتی در برخی نقاط به چشم می‌خورد. در منطقه ده زمان، برون‌زدهای گسترده‌ای از واحدهای آتشفشانی آهن‌دار سیلورین وجود دارد که اکنون کانسار آهن آن استخراج می‌شود (شکل ۴؛ کانسار آهن ده زمان یا الله‌آباد) [۱۰].

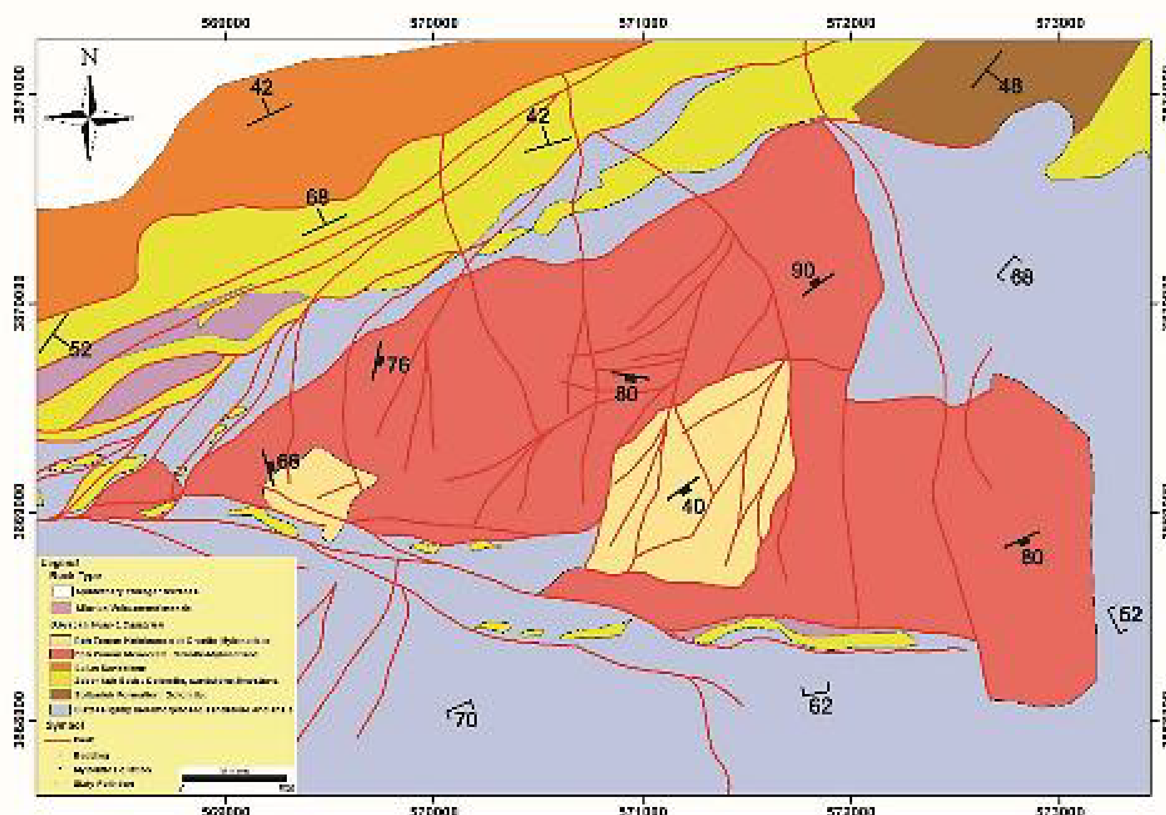
نتایج

بررسی های میکروسکوپی و شواهد ریزساختاری پورفیری آواری‌های فلدسپار

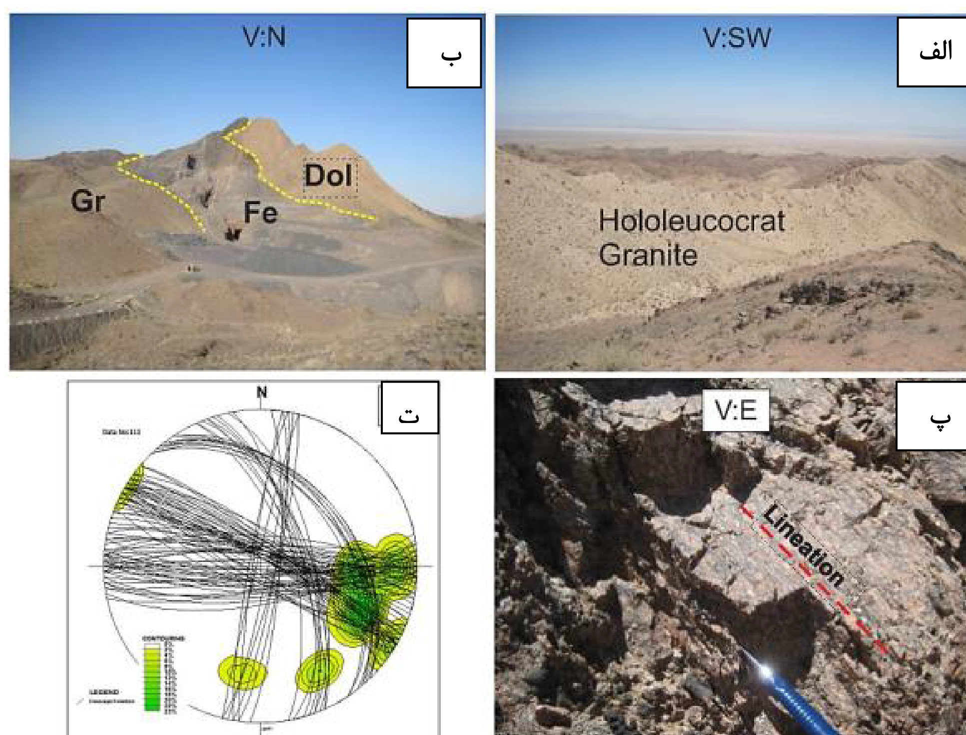
بررسی شرایط دگریختی بر اساس کرنش بلورها از جمله فلدسپارها رایج است [۷، ۱۰، ۱۶، ۱۷]. از عناصر بافتی شاخص میلونیت‌ها وجود پورفیری آواری‌هایی در زمینه دانه‌ریزتر است. در بیشتر گرانیت‌های میلونیتی بلورهای فلدسپار به علت مقاومت بیشتر، پورفیری آواری‌ها یا ساختار هسته‌ای را می‌سازند. آواری‌ها نسبت به زمینه در برابر دگریختی مقاومت بالاتری از خود نشان می‌دهند [۱۸].

1- Block Extrusion

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.3.5.3]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.3.447]



شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی- ساختاری گرانیت ده زمان (برگرفته از مرجع [۱۰]).



شکل ۴ الف) گرانیت روشن ده زمان، ب) سنگ‌شناسی دولومیت و گرانیت در کنار کانسار آهن، پ) گسترش برگوارگی میلونیتی در گرانیت ده زمان، ت) شکل برجسته‌نگاری برگوارگی در منطقه، (دولومیت: Dol، گرانیت: Gr، آهن: Fe، گرانیت تمام تیره: Hololeucocrat Granite).

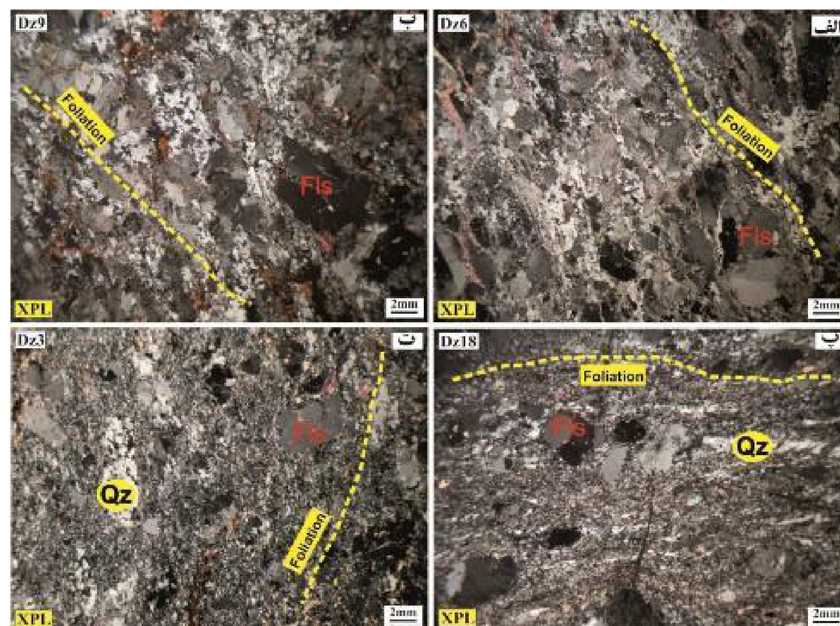
[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.3.5.3]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.3.447]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.3.5.3]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.3.447]

مقاطع جهت‌دار تهیه‌شده از نمونه‌های منطقه مورد بررسی بیشتر دارای خمیره شامل کوارتز، فلدسپار و میکا هستند گاهی با مقدار بالای میکا برگوارگی آشکارا دیده‌شده و قطعه‌های پورفیری آواری فلدسپاری با تغییرشکل شکننده، بیش از پورفیری آواری‌های کوارتزی به چشم می‌خورند. اغلب مقاطع نازک تهیه‌شده از گرانیت ده زمان دانه‌ریز هستند که دو دلیل می‌توان برای این امر بیان کرد. تخته سنگ‌ها در منطقه حضور گسترده‌ای دارند و از قدیمی‌ترین واحدهای سنگ‌چینه‌ای منطقه وابسته به پرکامبرین پسین هستند. سنگ مادر این تخته سنگ‌ها رسوب‌های آذرآواری ناشی از آتشفشان‌های زیردریایی هستند. دلیل دیگر می‌تواند فرآیند میلونیتی شدن و برش‌خوردگی به‌صورت چپ‌گرد و راست‌گرد بارها در دوره‌ها و زمان‌های مختلف باشد که شواهد ساختاری آن‌ها در پژوهش-های پیشین موجود است [۱۰]؛ بنابراین علت وجود فرامیلونیت‌ها (میلونیت‌های با درصد خمیره بالا) افزون بر داشتن سنگ مادر ریزدانه، بطور ویژه به برش‌خوردگی مربوط است.

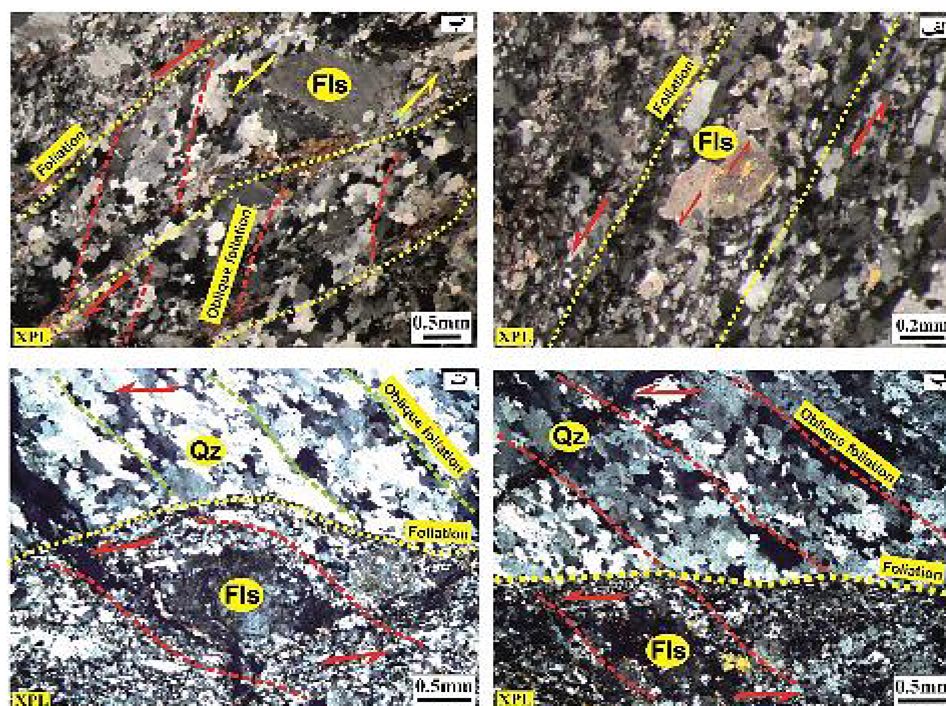
بر اساس تقسیم‌بندی‌های ارائه‌شده در مراجع [۱۹-۲۱] با در نظر گرفتن نسبت پورفیری آواری‌های موجود به زمینه، مقاطع تهیه‌شده برای تعیین نوع میلونیت بررسی شدند. در این مقاطع، براساس نسبت پورفیری آواری‌ها به زمینه سه حالت میلونیت اولیه (با درصد پورفیری آواری بیشتر) مانند شکل‌های ۵ الف و ب، میلونیت (برابری تقریبی درصد آواری به زمینه) مانند شکل‌های ۵ پ، ت و فرامیلونیت (با درصد خمیره بیش از آواری) دیده شد. در نیمی از مقاطع نازک تهیه‌شده از نمونه-های منطقه، بلورها دانه‌ریز هستند و فراوانی خمیره بیش از آواری‌هاست که بخشی از آن مربوط به دانه‌ریز بودن سنگ مادر است؛ در سایر موارد نیز آواری‌ها بیش از ۵۰ درصد مقاطع نازک را شامل می‌شوند که بیانگر نوع پروتومیلونیت است. در مجموع می‌توان بر اساس آمار تقریبی درصد آواری و خمیره در مقاطع، نوع میلونیت گرانیت ده زمان را پروتومیلونیت - میلونیت در نظر گرفت (شکل ۵).

در مقاطع نازک مورد بررسی، پورفیری آواری‌های فلدسپار دارای شکستگی و تنش آوار هستند و در آن‌ها اجزاء گوشه‌دارتر با اندازه‌های مختلف و لبه‌های بریده‌شده درون خمیره دانه‌ریز قرار دارند (شکل‌های ۶ الف و ب). گاه شکستگی‌هایی که بلور را به دو قسمت تقسیم نموده‌اند دیده می‌شوند. در برخی قطعه-های بزرگ و یا پورفیری آواری‌ها، گسستگی‌های جوش‌خورده توسط بلورهای ریزدانه جدید ناشی از بازتبلور وجود دارند (شکل‌های ۶ پ و ت). تغییرات در اندازه بلورهای جدید بسیار جزئی است. بلورهای فلدسپار خاموشی موجی دارند که بیانگر شدت دگرریختی کم‌تر است. همچنین این کانی‌ها ساختارهای نامتقارن چون زیگما (شکل‌های ۶ پ و ت)، زیگموئید و ساختارهای دومینو تشکیل می‌دهند. همبری بلورهای قدیمی و کم‌تر دگرریخت، نامنظم و در بلورهای جدید به حالت گرد است. مرزها دارای فرورفتگی‌های دندانه‌دار ریز هستند و از حالت زاویه‌دار خارج‌شده‌اند.



شکل ۵ شواهد میکروسکوپی نوع میلونیت ده زمان بر اساس تقسیم‌بندی‌های استاندارد (کوارتز: Qz، فلدسپار: Fls).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.3.5.3]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.3.447]



شکل ۶ مجموع شواهد برش چپ‌گرد در بلورهای فلدسپار: الف، ب) ساختار دومینو و افتادگی قطعه‌ها به‌صورت چپ‌گرد، پ و ت) جهت‌گیری چپ‌بر پورفیری آواری‌های فلدسپار به‌صورت ریزساختار زیگما.

ساختارهای دومینو در گرانیت میلونیتی ده زمان در قطعه‌-های فلدسپاری گاه به‌صورت هم‌شیب (شکل ۶ الف) با برش دیده می‌شوند، به‌طوری‌که دو قطعه بدون فاصله از هم قرار دارند و زاویه قرارگیری آن‌ها با برگوارگی عمومی کم شیب است (شکل ۶ الف).

همچنین ریزساختار زیگما در بلورهای فلدسپار دیده می‌شود. دانه‌ریز بودن زمینه در تشکیل این نوع ریزساختار مهم است. اگر زمینه از جنس پورفیری آواری باشد و یا کانی در پاسخ به برش مقاومت چندانی نداشته باشد، می‌تواند ساختار هسته-گوشته مشخصی تشکیل شود. در زیگمای فلدسپار به دلیل غنی بودن زمینه از کوارتز، افزون بر تشکیل ریزدانه‌های جدید، پوشش چندانی به چشم نمی‌خورد (شکل‌های ۶ پ و ت). با توجه به مجموعه شواهد موجود در این پژوهش و نیز در پژوهش‌های پیشین در مورد ریزساختارهای فلدسپاری در گرانیت میلونیتی ده زمان، راستای برش ثبت‌شده در ریزساختارهای این کانی چپ‌بر است (شکل ۶) [۱۰].

بازتبلور در فلدسپار

اغلب سازوکارهای دگرشکلی باعث تشکیل برخی ریزبافت ها در سنگ‌ها می‌شوند. دگرشکلی در دمای پایین به‌صورت رفتار کشسان، اصطکاک، جریان دانه‌ای و جریان تنش‌آواری در سنگ‌ها نمود می‌یابد. دگرشکلی شکل‌پذیر بلور باعث تغییر در شکل بلور بدون تغییر در ماهیت آن می‌شود. بازتبلور از سازوکارهای دگرشکلی درون بلوری است که طی آن براثر انتقال مرز و چرخش دانه‌های اولیه، بلورهای جدید شکل می‌گیرند. بررسی‌های انجام‌شده روی میلونیت‌ها در پهنه‌های برشی شکل‌پذیر نشان داده است که در تشکیل این سنگ‌ها جریان‌یافتگی شکل‌پذیر، کاهش اندازه ذرات و بازتبلور پویا بسیار اهمیت داشته‌اند. در گرانیت‌ها، پورفیری‌آواری‌های فلدسپاری به دلیل مقاومت برشی بالا در برابر دگریختی و بازتبلور مقاوم‌تر هستند و بیش از سایر کانی‌ها به‌صورت شکنا دگریخت می‌شوند [۱۸].

در مقاطع نازک جهت‌دار تهیه‌شده از نمونه‌های منطقه، پورفیری آواری‌های فلدسپار دارای شکستگی و تنش‌آواری هستند و خاموشی موجی محلی از خود نشان می‌دهند. برخی مرزها دارای فرورفتگی‌های دندانه‌دار ریز هستند و از حالت زاویه‌دار خارج‌شده‌اند. همبری بلورها نامنظم و در مقیاس بلورهای جدید به حالت گرد است. بلورهای جدید ناشی از بازتبلور به‌صورت دانه‌های کوچک انباشته در میان بلورهای

قدیمی و در لبه دیده می‌شوند. بیانگر بازتبلور نوع دماپایین یا برآمدگی (BLG) است (شکل ۷).

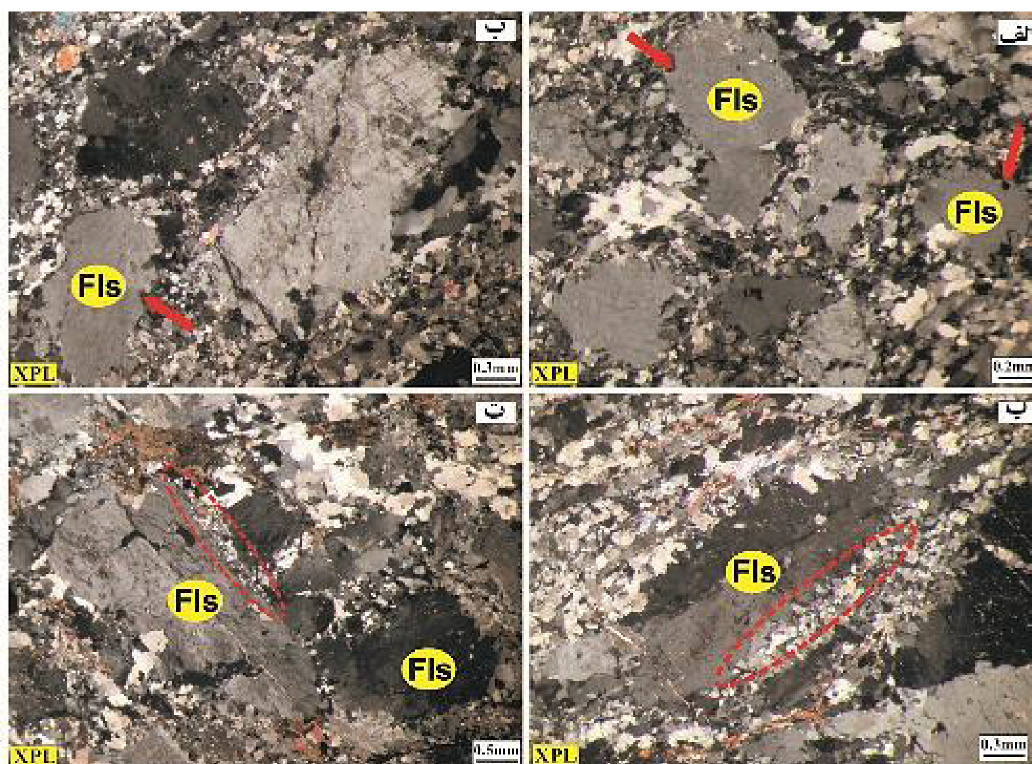
تحلیل تاوایی

تاوایی نسبت اندازه چرخش جریان و پارامتری بدون بعد است که براساس نسبت کوتاه شدگی به جابه‌جایی تعیین می‌شود [۲۲]. به بیان ساده‌تر، تاوایی نشان‌دهنده چرخش درونی طی دگرشکلی است. گستره تغییرات این پارامتر بین ۰ تا ۱ بوده و مقادیر صفر نشان‌دهنده برش محض (به‌عنوان دگریختی پیشرونده هم‌محور) و مقدار یک نشان‌دهنده برش ساده خالص (دگریختی غیر هم‌محور) است. مقادیر بین این دو حد نشان‌دهنده حالت برش عمومی است [۲۳]. تعیین تاوایی به بازسازی درجه ناهم‌محوری جریان، نسبت برش محض و برش ساده و نیز تعریف بهتری از جنبش شناسی غالب جریان در پهنه‌های برشی شکل‌پذیر کمک می‌کند. تاوایی براساس ریزساختارها و کرنش نهایی بررسی می‌شود.

محاسبه تاوایی

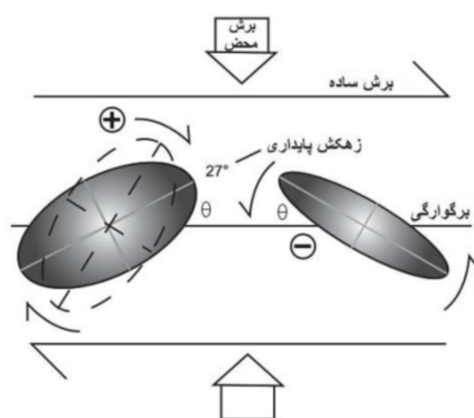
به‌طورکلی، تعدادی بافت یا ساختار وجود دارند که می‌توان از آن‌ها برای تعیین تاریخ دگرشکلی براساس متوسط چرخش در سنگ‌ها استفاده کرد. دایک‌ها و رگه‌های دگریخت، پورفیری آواری‌های سخت، شکفته بلورها، جهت‌گیری محورهای نوری (محور c) کوارتزها، برگوارگی ماکروسکوپی، برگوارگی مایل، نوارهای برشی، رگه‌های کششی و استیلولیت‌ها براساس روش‌های مختلف برای محاسبه تاوایی استفاده می‌شوند.

استفاده از پورفیری آواری‌ها در زمینه جریانی برای محاسبه تاوایی به‌منظور برآورد نقش نسبی برش محض و برش ساده که به‌صورت نافذ دگرشکل شده‌اند، بسیار مهم است [۲۴]. مدل‌های چرخش اشیای بیضوی در یک مایع این امر را اثبات می‌کند که طی یک برش ساده وقتی‌که تاوایی برابر با ۱ است، اشیای صلب صرف‌نظر از نسبت قطری (درجه بیضی بودن، R) به طور غیرمحدود می‌چرخند؛ با افزایش نقش نسبی برش محض ($0<W_k<1$)، پورفیری آواری‌ها هم‌راستا با مؤلفه برش ساده (رو به جلو) و یا برخلاف آن (به سمت عقب) می‌چرخند تا به جهت‌گیری ثابت در راستای R و W_m (عدد تاوایی سینماتیکی میانگین) ثابت برسند (شکل ۸) [۲۵].



شکل ۷ نوع دگریختی و بازتبلور غالب در بلورهای فلدسپار به‌صورت تحرک مرز دانه دماپایین و برآمدگی (BLG). به فرورفتگی لبه بلورها و ریزبلورهای بازتبلور یافته در مرز آن‌ها توجه شود.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.3.5.3]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.3.447]



شکل ۸ چرخش دو پورفیری آواری در یک نظام برش کلی [۲۴].

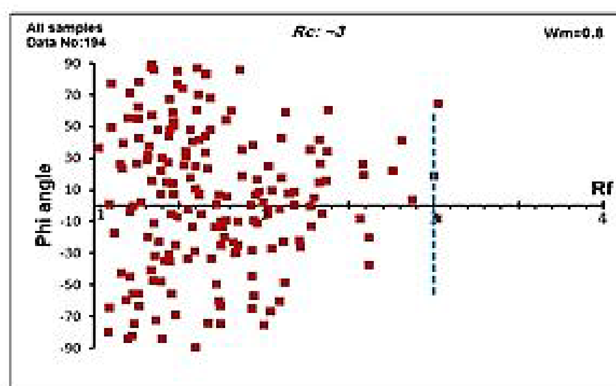
روش‌های مختلفی برای برآورد تاوایی در پهنه‌های برشی با کرنش بالا بر پایه پورفیری آواری بر اساس یک چارچوب ریاضی مشابه میان R، W_m، عامل شکل (B) و زاویه بین محور بزرگ پورفیری آواری‌ها و برگوارگی ماکروسکوپی به کار رفته‌اند. این روش‌ها یک آستانه بحرانی (Rc) را معرفی می‌کنند که در مقادیر بالاتر از آن به یک جهت‌گیری ثابت می‌رسند. درواقع، Rc نسبت جسم بحرانی است که جسم در آن به‌طور دائم در حال چرخش است. شکل ۹ [۲۶] یکی از روش‌های بیان شده را نشان می دهد (شکل ۹).

تحلیل تاوایی براساس کرنش و جهت‌گیری پورفیری آواری‌های فلدسپار

در این پژوهش، برای بررسی میزان تاوایی بر اساس کرنش بلورهای فلدسپار از روش زاویه بحرانی (Rc) و درجه بیضوی بودن در بلورهای فلدسپار استفاده شد. به این منظور، تعداد ۱۷ نمونه برداشت‌شده و در راستای موازی با خطواره کششی و عمود بر برگوارگی از آن‌ها مقاطع نازک جهت‌دار تهیه‌شد.

بررسی کرنش و اندازه‌گیری مؤلفه چرخشی آن (تاوایی) در گرانیت میلونیتی ده زمان با استفاده از داده‌های آماری حاصل به دست آمده از اندازه‌گیری بر بلورهای فلدسپار در محیط نرم‌افزار Ellipse Fit انجام شد. برای این منظور در مقاطع جهت‌دار، افزون بر بررسی سوی برش و نوع باز تبلور پویا، نسبت اندازه‌ها، همچنین زاویه بین محور بزرگ بلورها و اثر برگوارگی Φ برای همه پورفیری آواری‌های فلدسپار اندازه‌گیری گردید. سپس این داده‌ها در یک نمودار که محور افقی آن نشان‌دهنده مقدار R_f و محور قائم بیانگر زاویه Φ است، رسم شد. این نقاط در محل ویژه‌ای انباشته شدند که به‌عنوان مقدار بحرانی درجه بیضوی بودن کرنش Rc مطرح است. سرانجام، بر اساس زاویه بحرانی بیضوی کرنش [۷]، Rc که شاخصی برای تاوایی جریان است، بر اساس مقدار تاوایی میانگین (Wm) محاسبه شد:

$$Wm = (Rc^2 1) / (Rc^2+1) \quad (۱)$$

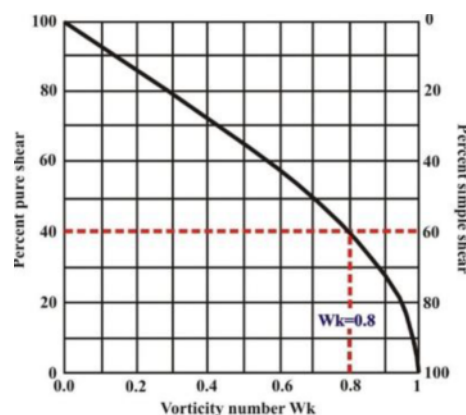


شکل ۹ بررسی تاوایی بر اساس عدد تاوایی سینماتیکی میانگین (Wm) از روی نسبت جسم بحرانی (Rc) که در موقعیت بالای آن جسم به‌طور دائم در حال چرخش است (برگرفته از مرجع [۷]).

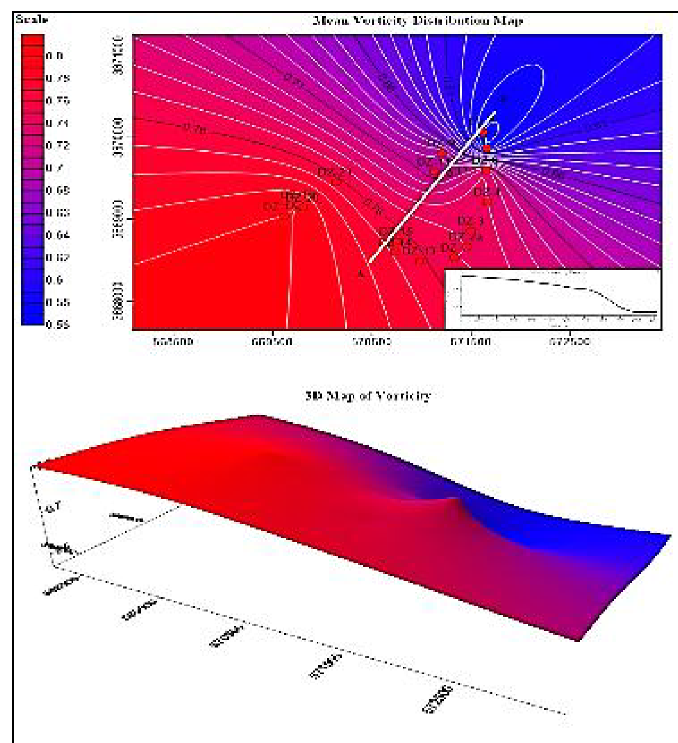
[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.3.5.3]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.3.447]

میانگین Rxz در مقاطع برابر با ۱،۶۹ و میانگین زاویه Φ برابر با ۴٫۹ درجه محاسبه شد. با قرار دادن میانگین آستانه بحرانی کل (Rc=3)، در رابطه (۱)، مقدار تاوایی جریان برای این گرانیت میلونیتی برابر ۰٫۸ به‌دست‌آمد (شکل ۹).

تاوایی برای دگرشکلی غیرچرخشی برابر با صفر بوده و برای دگرشکلی چرخشی دارای مقدار است. می‌توان افزون بر مقدار کمی این پارامتر، نوع و درصد برش غالب (برش ساده یا برش محض) در منطقه را تعیین کرد. با توجه به مقدار تاوایی به‌دست‌آمده و ارتباط این پارامتر با نوع برش (شکل ۱۰)، میزان برش ساده در منطقه (۶۰ درصد) بر برش محض (۴۰ درصد) غالب است. همچنین برای درک بهتر چگونگی توزیع این پارامتر در منطقه، نمودار ارتباط آن با مقدار برش‌های محض و ساده، همچنین نقشه تراز آن تهیه شد (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). با توجه به این نقشه، تاوایی در بخش جنوب غربی منطقه دارای بیشترین مقدار است، یعنی مؤلفه‌های برشی در این بخش حضور و تأثیر بیشتری دارند.



شکل ۱۰ ارتباط عدد سینماتیکی تاوایی (Wk) و مؤلفه‌های برش محض و برش ساده برای جریان دوبعدی لحظه‌ای در منطقه گرانیت میلونیتی ده زمان، برگرفته از مرجع [۲۸].



شکل ۱۱ نقشه توزیع مقادیر تاوایی در منطقه میلونیت ده زمان که بر اساس مقیاس ارائه‌شده بیشترین مقادیر در بخش‌های قرمزرنگ به‌دست‌آمده‌اند که نیمرخ رسم‌شده این افزایش را با شیبی ملایم و کاهش این پارامتر به سمت شمال شرقی را با شیبی تند نشان می‌دهد.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.3.5.3]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.3.447]

بحث و بررسی

نوزعیم [۱۰] بررسی‌های ساختاری گسترده‌ای در منطقه ده‌زمان انجام داده است. ازجمله او با بررسی ریزساختاری بلورهای فلدسپار؛ افزون بر راستای برش غالب، دمای دگریختی تقریبی را تعیین کرده است. رحیمی دهگلان [۱۴] نیز پارامترهای کرنش در منطقه را برررسی کرده است. داده‌های کمی برداشت‌شده از آخرین وضعیت کرنش ثبت‌شده در کانی کوارتز گرانیت میلونیتی ده زمان [۱۵] گستره تغییرات پارامتر شکل بیضوی کرنش (K) را مغایر با نتایج برآمده از پژوهش او نشان می‌دهد.

برداشت

در توده گرانیتی ده زمان، با برگوارگی میلونیتی با موقعیت SE,۱۲۰/۸۰، بر اساس شواهد ریزساختاری کانی فلدسپار، دگریختی شکنا، بازتبلور غالب دماپایین و درصد تنش‌آوارهای موجود، بر پایه تقسیم‌بندی‌های بیان شده نوع میلونیت گرانیت ده زمان میلونیت اولیه- میلونیت است. با توجه به شواهد ارائه شده در گزارش‌های پیشین [۱۰]، رخداد ترافشارشی بصورت برش چپ‌گرد وابسته به پرکامبرین پسین-کامبرین پیشین است. دماپایین بودن میلونیت‌های منطقه نشان می‌دهد که برش‌خوردگی هم‌زمان با فعالیت ماگمایی نیست. این شواهد، سوگیری غالب ریزساختارهای فلدسپاری را به‌صورت چپ‌گرد نشان می‌دهند. وجود پورفیری آواری‌های درشت فلدسپار و دگریختی شکنای آن و همچنین باز تبلور پویا از نوع مهاجرت مرزدانه بیانگر دمای دگریختی حدود $450^{\circ}C$ و یک میلونیت درجه پایین تا متوسط است. براساس تمرکز بیشتر داده‌ها در بررسی کرنش بلورهای فلدسپار در نمودار Rf/Q و حد بحرانی به‌دست‌آمده (Rc=3)، عدد تاوایی برابر با ۰،۸ بوده که نشان دهنده غلبه مؤلفه برش ساده (۶۰٪) بر برش محض (۴۰٪) و گسترش ساختار میلونیتی در شرایط ترافشارشی است. این نتیجه بیانگر حضور بالای کرنش برشی ساده در منطقه و عملکرد هر دو مؤلفه برشی است. افزایش تاوایی به سمت جنوب غرب منطقه بیان‌گر افزایش برش در آن است.

قدردانی

این مقاله بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده نخست است. نگارندگان از جناب آقای مهندس یاسر حسینی برای همکاری در تهیه مقاطع نازک و همچنین جناب آقای مهندس یوسفی برای انجام امور آزمایشگاهی و همکاران عزیز قسمت نقلیه دانشگاه تربیت مدرس برای انجام عملیات صحرایی تشکر می‌نمایند.

مراجع

[1] Bagheri S., Stampfli G.M., "*The Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam metamorphic complex on central Iran: New geological data, relationships and tectonic implications*", Tectonophysics 451 (2008) 123-158.

[2] Brunet M., Korotaev M.V., Ershov A.V., Nikishin A.M., "*The south Caspian basing: a review of its evolution from subsidence modelling*", Sedimentary Geology 156 (2003) 119-148.

[3] Samani B., "*Deformation flow analysis and symmetry of Goushti shear zone, Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, Iran*", Geopersia 7 (1) (2017) 117-130.

[4] Stampfli G.M., "*Tethyan oceans. In: Bozkurt E., Winchester G.A., Piper G.D.A., (Eds), Tectonics and magmatism in Turkey and surrounding area*", Geological Society of London, Special Publication, (2000) 1-23.

[5] Stampfli G.M., Borel G.D., "*A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones* ", Earth and Planetary Science Letters196, (2002)p. 17-33.

[6] Ramezani J., Tucker R.D., *"The Saghand region,central Iran: U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics",* (2003).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.3.5.3]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.3.447]

[7] Passschier C.W., Trouw R.A.J., "*Microtectonics*", second ed, Springer, Berlin, (2005).

[8] Ruttner A., Nabavi M.H., Alavi M., "*Geological map of Ozbak Kuh Mountain (1/100,000)*" Geological survey of Iran press, (1970).

[9] Ruttner A., Nabavi M.H., Alavi M., Eftekhar-Nzhad J., Hajain J., Valeh N., *"Geological map of Ferdows (1/250,000)",* Geological survey of Iran press (1977).

[10] Nozaem R., "*Deformation Analysis of the Kuh-e-Sarhangi Area at Northwest Edge of Lut Block*", Ph.D. Thesis, Tarbiat Modares university, (1391).

[11] Nozaem R., Mohajjel M., Yassaghi A., Nasrabadi M., "*Structural analysis and determination of deformation conditions of the Kuh-e-Sarhangi shear zone in Deh-Zaman granite at Northwest Edge of Lut Block*", Iranian Journal of Crystalography and Mineralogy, 22 (1) (1391) 15-26.

[12] Rossetti F., Nozaem R., Lucci F., Vignaroli G., Gerdes A., Nasrabadi M., Theye T., "*Tectonic setting and geochronology of the Cadomian(Ediacaran-Cambrian) magmatism in Central Iran, kuh-e-Sarhangi region (NW Lut Block)* " *Journal of Asian Earth Sciences,* 102, (2015) 24-44.

[13] Nozaem R., Mohajjel M., Rossetti F., Della Seta M. M., Vignaroli G., Yassaghi A., Salvini F., Eliassi M., " *Post-Neogene right-lateral strike–slip tectonics at the north-western edge of the Lut – Block (Kuh-e–Sarhangi Fault), Central Iran*", *Tectonophysics,* 589 , (2013), p 220–233.

[14] Rahimi Dehgalan F., "*Structural analysis and deformation conditions of the* Ghasemabad area, *Northwest of* Kashmar" , Master Thesis, Tectonics, college of Geology, Geological survey, (1396).

[15] Soudmand Z., "*Strain analysis of the Deh Zaman mylonitic granite, Kuh-e-Sarhangi Area, Northwest Edge of Lut Block*", Master Thesis, Tarbiat Modares university, (1397).

[16] Rahimi B., "*Structural analysis, Origin and deformation conditions of ductile shear zones in Dehno granitoid massif, NW of Mashhad*", Iranian Journal of Crystalography and Mineralogy, 18(3)(1389).

[17] Rahimi B., "*Structural, hydrothermal and mechanical evolution of Strikeslip faults in Dehno tonal massif, NW of Mashhad*", Iranian Journal of Crystalography and Mineralogy, 19(4)(1390).

[18] Trouw R.A.J., Passchier C.W., *" Atlass of Mylonites",* second ed., Springer , Berlin (2009).

[19] Scholz C.H., *"Frictional behavior and constitutive modeling of simulated fault gouge*", Journal of Geophysical Research: Solid Earth 95 (B5), (1990)7007-7025.

[20] Schmid S.M., Handy M.R., " *Towards a genetic classification of fault rocks: geological usage and tectonophysical implications. In: Muller DW, McKenzie 1A, Weissert H (eds) Controversies in modern geology, evolution of geological of theories in sedimentology, earth history and tectonics*" Academic Press, London, (1991).

[21] Sibson R.H., "*Fault rocks and fault mechanism*" J Geol Soc Lond 133: (1977)191-213.

[22] Fossen H., *"Structural Geology",* Cambridge University Press, New York. 1 (2010) p.441.

[23] Twiss R.J., Moores E.M., "*Structural Geology*" Freeman and Co., New York, (1992) 532 pp.

[24] Jessup M., Law R., Frassi C., "*The Rigid Grain Net (RGN): An alternative method for estimating mean kinematic vorticity number (Wm)* ", Journal of Structural of Geology 29, (2007), 411-421.

[25] Passchier C.W., "*Stable positions of rigid objects in non-coaxial flow-a study in vorticity analysis*", Journal of Structural Geology 9 (5-6), (1978) 679-690.

[26] Wallis S., "*Vorticity analysis and recognition of ductile extension in the Sanbagawa belt*", SW Japan. Journal of Structural Geology .Volume 17, Issue 8, (1995) 1077-1093.

[27] Whitney D.L., Evans W.E., *“Abbreviations for names of rock-forming minerals*”, *American Mineralogist,* Volume 95 (2010) pages 185–187.

[28] Law R.D., Searle M.P., Simpson R.L., "*Strain, deformation temperatures and vorticity of flow at the top of the greater Himalayan Slab, Everest Massif, Tibet* " , Journal of the Geological Society, London 161, (2004), 305e320.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.3.5.3]

[DOI: 10.52547/ijcm.30.3.447]